

Параметры распределения дисперсионного соотношения для области высоких и низких частот приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры дисперсионного соотношения Гавриляка-Негами

Циклическая частота, $\text{с}^{-1}$	$\varepsilon_s$	$\varepsilon_\infty$	$\tau, \text{с}$	$\alpha$	$\beta$
$10^{-2} \div 10^3$	16	8,6	6,5	0	0,5
$10^3 \div 10^6$	8,4	1,54	$1,7 \cdot 10^{-4}$	0,15	0,9

Наличие двух областей, отличающимися как временем релаксации, так и коэффициентами распределения, позволяют сделать вывод о существовании двух механизмов проводимости.

1. Тонконогов М.П., УФН, 168, 29 (1998).
2. Petrenko V.F., Whitworth R.W., Physics of ice, Oxford University Press (2006).
3. Jaccard C., Helv.Phys.Acta, 32, 89 (1959).
4. Копосов Г.Д., Тягунин А.В., Физика пассивных диэлектриков, Кира (2013).
5. Волков А.С., Волкова Ю.В., Физический вестник Института естественных наук и технологий САФУ, 14, 119 (2015).

## ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ НЕФТИ ПРИ НИЗКИХ ЧАСТОТАХ В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР 170 – 230 К

Волков А.С.<sup>\*</sup>, Волкова Ю.В.

Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск, Россия

\*E-mail: [a.s.volkov@narfu.ru](mailto:a.s.volkov@narfu.ru)

## DIELECTRIC PERMITTIVITY OF OIL AT LOW FREQUENCIES IN THE TEMPERATURE RANGE 170-230 K

Volkov A.S.<sup>\*</sup>, Volkova Yu. V.

Northern (Arctic) Federal University named  
after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia

The dielectric spectroscopy oil is widely used to study the dispersed structure. The article shows the frequency dependence of the dielectric permittivity of oil at low temperatures. Detected nonrelaxation character of the spectrum at low frequencies, it is associated with the plasma frequency.

Диэлектрическая спектроскопия широко используется для исследования дисперсной структуры нефтей. В работе [1] выявлено влияние на электрофизические свойства нефти оттаивания в поле тяжести Земли, в работе [2] определено влияние повторной заморозки нефти на значения диэлектрической прони-

цаемости. Дальнейшие исследования выявили крайне слабую релаксационную поляризацию, прыжковый механизм проводимости и сквозную электропроводность нефти в области отрицательных температур и в диапазоне частот от 25 Гц до 1 МГц [3].

В работе исследования проводились с помощью широкополосного диэлектрического спектрометра Novocontrol Concept 80, оснащенного криосистемой, в диапазоне частот от  $10^{-2}$  Гц до  $10^7$  Гц при температурах от  $-100$  до  $-30$  °С. Образец нефти с Усинского нефтяного месторождения, отличающейся высоким содержанием парафинов и смолисто-асфальтеновых веществ, помещался в измерительную ячейку. Действительная часть комплексной диэлектрической проницаемости  $\varepsilon'$  определялась исходя из емкости ячейки с образцом  $C$  и емкости пустой ячейки  $C_0$ :

$$\varepsilon' = \frac{(C - C_0)d}{\varepsilon_0 S} + 1 \quad (1)$$

Полученные зависимости  $\varepsilon'(\omega)$  для температур  $-100 \div -30$  °С приведены на рис. 1. Следует отметить нерелаксационный характер частотной зависимости в области низких частот. В исследуемом диапазоне температур с ростом частоты наблюдается увеличение значений действительной части комплексной диэлектрической проницаемости до значений  $\varepsilon_\infty$ .

Такое поведение зависимости  $\varepsilon'(\omega)$  при низких температурах может быть связано с вкладом упругой поляризации, приводящей к нормальной дисперсии. С другой стороны, отрицательный вклад в величину  $\varepsilon'$  при низких температурах возможен при внутреннем вращении в переменном электрическом поле отдельных элементов макромолекул относительно некоторых химических связей, в случае нефтяных дисперсных систем – частей парафиновых цепей и полиароматических соединений.

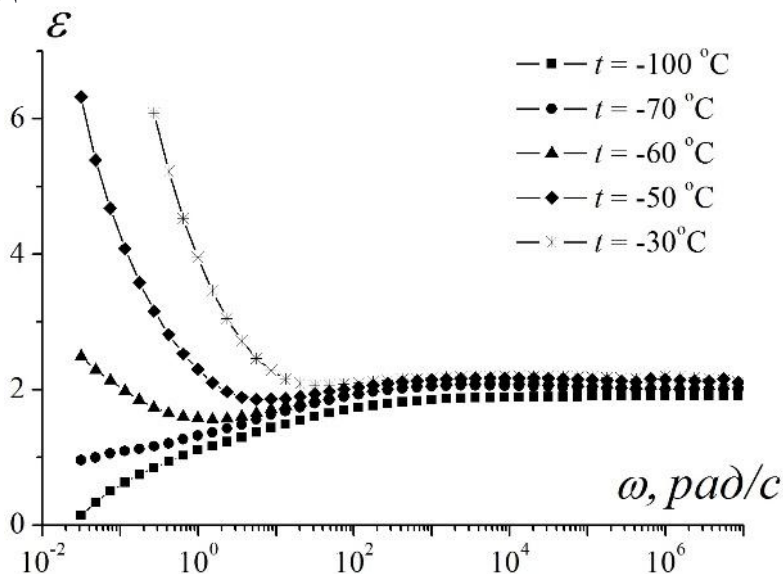


Рис. 1. Частотная зависимость действительной части комплексной диэлектрической проницаемости образца нефти

1. Волкова Ю.В., Волков А.С., Соловьева Н.С., Физический вестник Института естественных наук и технологий САФУ, 14, 65 (2014).
2. Волкова Ю.В., Волков А.С., Шестаков Л.Н., Сборник тезисов, материалы Двадцать первой Всероссийской научной конференции студентов физиков и молодых ученых (ВНКСФ-21, Омск), 1, 118 (2015).
3. Волкова Ю.В., Волков А.С., Лютоева А.А., Физический вестник Института естественных наук и технологий САФУ, 14, 57 (2015).

## STRUCTURAL CHANGES IN THE COMPOUNDS $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$ AND $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$

Yaroslavtsev A.A.<sup>\*</sup>, Neznahin D.S., Alikin D.O.

Ural Federal University, 620000, Yekaterinburg, st. Mira 19

\*E-mail: [yaroslavtcev.a@mail.ru](mailto:yaroslavtcev.a@mail.ru)

$\text{Cu}_{12}\text{V}_4\text{S}_{13}$  (V – As, Sb) the widespread sulfosalts of fahlores group, which are a potential structural material for thermoelectric devices [1]. Compounds of the type  $\text{Cu}_{12}\text{V}_4\text{S}_{13}$  belong to tetrahedrites group, which are characterized high mobility of ions in the crystal lattice [2]. There is fundamental interest to study the mobility of copper ions in the compounds  $\text{Cu}_{12}\text{V}_4\text{S}_{13}$  (V – As, Sb).

The samples  $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$  (analogue of the natural mineral tennantite [3]) and  $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$  (analogue of the natural mineral Mgriit [4]) were synthesized by sealed in evacuated quartz tubes in stoichiometric quantities. Additionally, the sample  $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$  was recrystallized by method of the Bridgman – Stockbarger after preliminary sintering in quartz ampoules.

The temperature dependence of magnetic susceptibility (measured on a SQUID magnetometer in the magnetic field of 1, 10, 35, 70 kOe at temperatures ranging from 4 to 350 K) for the sample  $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$  at temperatures below 130 K (for the sample  $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$  at temperatures below 90 K) looks like a paramagnetic – antiferromagnetic transition. Spectrums of electron spin resonance for the sample  $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$  have similar changing in compare with EPR spectrums of the sample  $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$  [5] at temperatures of structural changes. Thus, there can exist same mechanism of transition. Perhaps the reason for this behavior can be self-diffusion of ions  $\text{Cu}^+$  и  $\text{Cu}^{2+}$ , which are present in the crystal structures. Such kind of mobility appears in  $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$  and  $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$  due to the presence of non-stoichiometric distribution of copper ions in the crystal lattice and the high mobility of them [6,7].

The isovalent substitution of As on Sb amends in the basic orbital states in the crystal field symmetry of the cluster  $\text{Cu}_6\text{S}_{13}$  [6]. Consequently, the temperature of structural transformation shifts from  $T \sim 124$  to  $T \sim 84$  K.

1. Skoug, Eric J., Jeffrey D. Cain et al., Journal of electronic materials, 41(6), 1232-1236 (2012).